

Document made available under the Patent Cooperation Treaty (PCT)

International application number: PCT/JP05/014268

International filing date: 28 July 2005 (28.07.2005)

Document type: Certified copy of priority document

Document details: Country/Office: JP
Number: 2004-347713
Filing date: 30 November 2004 (30.11.2004)

Date of receipt at the International Bureau: 29 September 2005 (29.09.2005)

Remark: Priority document submitted or transmitted to the International Bureau in compliance with Rule 17.1(a) or (b)



World Intellectual Property Organization (WIPO) - Geneva, Switzerland
Organisation Mondiale de la Propriété Intellectuelle (OMPI) - Genève, Suisse

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日
Date of Application: 2 0 0 4 年 1 1 月 3 0 日

出 願 番 号
Application Number: 特 願 2 0 0 4 - 3 4 7 7 1 3

パリ条約による外国への出願
に用いる優先権の主張の基礎
となる出願の国コードと出願
番号

The country code and number
of your priority application,
to be used for filing abroad
under the Paris Convention, is

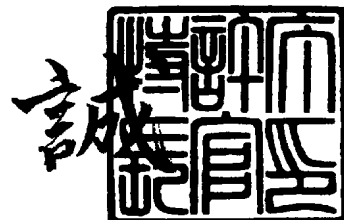
J P 2 0 0 4 - 3 4 7 7 1 3

出 願 人
Applicant(s): 松下電工株式会社

2 0 0 5 年 9 月 1 4 日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

中 嶋



【書類名】	特許願
【整理番号】	04P02738
【提出日】	平成16年11月30日
【あて先】	特許庁長官殿
【国際特許分類】	G01B 11/00
【発明者】	
【住所又は居所】	大阪府門真市大字門真 1 0 4 8 番地
【氏名】	松下電工株式会社内 高田 裕司
【発明者】	
【住所又は居所】	大阪府門真市大字門真 1 0 4 8 番地
【氏名】	松下電工株式会社内 橋本 裕介
【発明者】	
【住所又は居所】	大阪府門真市大字門真 1 0 4 8 番地
【氏名】	松下電工株式会社内 常定 扶美
【特許出願人】	
【識別番号】	000005832
【氏名又は名称】	松下電工株式会社
【代理人】	
【識別番号】	100087767
【弁理士】	
【氏名又は名称】	西川 恵清
【電話番号】	06-6345-7777
【選任した代理人】	
【識別番号】	100085604
【弁理士】	
【氏名又は名称】	森 厚夫
【手数料の表示】	
【予納台帳番号】	053420
【納付金額】	16,000円
【提出物件の目録】	
【物件名】	特許請求の範囲 1
【物件名】	明細書 1
【物件名】	図面 1
【物件名】	要約書 1
【包括委任状番号】	9004844

【書類名】 特許請求の範囲

【請求項 1】

強度が周期的に変化する強度変調光を対象空間に照射する発光源と、受光光量に応じた電気出力を発生する複数の感光部が配列され対象空間を撮像する光検出素子と、発光源から対象空間に照射された光が対象空間内の対象物で反射され各感光部で受光されるまでの強度変調光の位相差を対象物までの距離に換算した距離値を画素値とする距離画像と各感光部の受光光量である濃淡値を画素値とする濃淡画像とを同じ感光部の受光光量からそれぞれ生成する画像生成部と、画像生成部で生成された濃淡画像から対象物について着目する複数の計測点を抽出する計測点抽出部と、計測点抽出部で抽出した計測点の位置の画素について画像生成部で生成された距離画像から求めた距離値と距離画像内での計測点の位置とから対象物において複数の計測点に対応する部位間の実寸を算出する実寸算出部とを備えることを特徴とする計測装置。

【請求項 2】

前記画像生成部で生成された距離画像と濃淡画像との少なくとも一方から対象物の三次元形状を推定する形状推定部と、形状推定部で推定された形状について実寸算出部で求められる特徴寸法を用いて対象物の体積を算出する体積算出部とが付加されていることを特徴とする請求項 1 記載の計測装置。

【請求項 3】

前記計測点抽出部は、前記画像生成部で生成された濃淡画像を画面上に表示するモニタ装置と、モニタ装置の画面上で所望位置を計測点として指定する操作が可能な位置指定装置とを備え、前記実寸算出部は、位置指定装置による計測点のうち指定された計測点に対応する部位間の実寸を算出することを特徴とする請求項 1 または請求項 2 記載の計測装置。

【請求項 4】

前記計測点抽出部は、前記画像生成部で生成された濃淡画像から規定の形状の対象物を抽出するとともに、当該形状についてあらかじめ複数箇所に設定されている計測点を抽出し、前記実寸算出部は、計測点抽出部で抽出された複数の計測点に対応する部位間の実寸を算出することを特徴とする請求項 1 または請求項 2 記載の計測装置。

【書類名】 明細書

【発明の名称】 計測装置

【技術分野】

【０００１】

本発明は、対象物を撮像した画像を用いて対象物の実寸を計測する計測装置に関するものである。

【背景技術】

【０００２】

一般に対象物を撮像することにより得られる画像は、対象空間の明暗を反映した濃淡画像であって、この種の濃淡画像を用いることにより、対象物の形状を認識したり、対象物の外観上の欠陥を検出したりする技術が従来から知られている（たとえば、特許文献１参照）。

【０００３】

一方、対象物の特定部位の実寸を遠方から求めるには、対象物の特定部位までの距離を求める必要がある。対象物の特定部位までの距離を求める技術としては、点状ないし線状の光パターンを対象物の特定部位に照射するとともに、光パターンの反射光をＰＳＤのような位置検出素子で受光し、三角測量法の原理を用いて位置検出素子の出力を距離に換算する技術が知られている（たとえば、特許文献２参照）。

【特許文献１】 特開平１１－２８４９９７号公報

【特許文献２】 特開昭６４－１０１０８号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【０００４】

上述した両技術を組み合わせれば、対象物を撮像した濃淡画像の中で対象物の所望位置間の距離を計測するに際して、三角測量法の原理により求めた対象物の特定部位までの距離と、濃淡画像を撮像する際の構成と、濃淡画像の中での対象物の特定部位の位置とを用いることによって、対象物の特定部位の間の実寸を求めることが可能になる。

【０００５】

しかしながら、対象物の特定部位の間の実寸を求めるために、濃淡画像を撮像するＴＶカメラのような撮像装置と位置検出素子を用いた測距装置とを併用するとすれば、装置の構成が複雑になり装置が大型化するという問題が生じる上に、撮像装置により撮像された濃淡画像の画像内での各位置と測距装置で距離を求めた位置とを対応付けることが必要になり、実寸を求めるための処理量が多くなるという問題が生じる。

【０００６】

本発明は上記事由に鑑みて為されたものであり、その目的は、撮像装置と測距装置とを組み合わせる必要がなく１種類の装置で対象物の特定部位の実寸を求めることを可能として簡単な構成で実寸を求めることができ、しかも対象物の濃淡画像における画像内での各位置への距離の対応付けの処理を不要とした計測装置を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【０００７】

請求項１の発明は、強度が周期的に変化する強度変調光を対象空間に照射する発光源と、受光光量に応じた電気出力を発生する複数個の感光部が配列され対象空間を撮像する光検出素子と、発光源から対象空間に照射された光が対象空間内の対象物で反射され各感光部で受光されるまでの強度変調光の位相差を対象物までの距離に換算した距離値を画素値とする距離画像と各感光部の受光光量である濃淡値を画素値とする濃淡画像とを同じ感光部の受光光量からそれぞれ生成する画像生成部と、画像生成部で生成された濃淡画像から対象物について着目する複数の計測点を抽出する計測点抽出部と、計測点抽出部で抽出した計測点の位置の画素について画像生成部で生成された距離画像から求めた距離値と距離画像内での計測点の位置とから対象物において複数の計測点に対応する部位間の実寸を算出する実寸算出部とを備えることを特徴とする。

【0008】

この構成によれば、光検出素子の各感光部で受光した受光光量によって対象物の濃淡画像と距離画像とを生成するから、対象物に関する濃淡画像を得る構成と対象物に関する距離を得る構成とを1種類の装置で実現することができ、個々に設けた撮像装置と測距装置とを組み合わせるものに比較すれば構成が簡単になる。しかも、光検出素子の各感光部の1つの出力から対象空間の各位置に関する濃度値と距離値とを得ることができ、濃度値と距離値とが同じ画素から得られるから、濃淡画像内での対象物の位置と距離値との対応付けの処理が不要になる。

【0009】

請求項2の発明では、請求項1の発明において、前記画像生成部で生成された距離画像と濃淡画像との少なくとも一方から対象物の三次元形状を推定する形状推定部と、形状推定部で推定された形状について実寸算出部で求められる特徴寸法を用いて対象物の体積を算出する体積算出部とが付加されていることを特徴とする。

【0010】

この構成によれば、対象物の三次元形状を推定し、実寸算出部で求めた対象物の特徴寸法を用いて対象物の体積を算出するから、立体的な対象物について一方向から撮像しているにもかかわらず対象物の体積を求めることができる。ここに、対象物の三次元形状の推定において、距離画像と濃淡画像との一方のみを用いる場合でも、輪郭線の形状と対象物の三次元形状との関係に関する知識を用いたり、テンプレートとのマッチングを行うことによって三次元形状を特定することができるが、距離画像と濃淡画像との両方を用いる場合には、対象物に関する情報量が多くなるから、対象物の三次元形状をより正確に推定することが可能になる。

【0011】

請求項3の発明では、請求項1または請求項2の発明において、前記計測点抽出部は、前記画像生成部で生成された濃淡画像を画面上に表示するモニタ装置と、モニタ装置の画面上で所望位置を計測点として指定する操作が可能な位置指定装置とを備え、前記実寸算出部は、位置指定装置による計測点のうち指定された計測点に対応する部位間の実寸を算出することを特徴とする。

【0012】

この構成によれば、利用者が、モニタ装置に表示された濃淡画像によって対象物を確認し、位置指定装置によって計測点を指定することができるから、必要箇所のみ実寸を算出することができる。

【0013】

請求項4の発明では、請求項1または請求項2の発明において、前記計測点抽出部は、前記画像生成部で生成された濃淡画像から規定の形状の対象物を抽出するとともに、当該形状についてあらかじめ複数箇所に設定されている計測点を抽出し、前記実寸算出部は、計測点抽出部で抽出された複数の計測点に対応する部位間の実寸を算出することを特徴とする。

【0014】

この構成によれば、濃淡画像から規定の形状の対象物を抽出し、その形状についてあらかじめ設定されている計測点に対応する部位の実寸を算出するから、実寸の計測が自動化され、しかも利用者による計測点の指定を行わないから、計測の再現性が期待でき、計測結果のばらつきが少なくなる。

【発明の効果】

【0015】

本発明の構成によれば、光検出素子の各感光部で受光した受光光量によって対象物の濃淡画像と距離画像とを生成するから、対象物に関する濃淡画像を得る構成と対象物に関する距離を得る構成とを1種類の装置で実現することができ、個々に設けた撮像装置と測距装置とを組み合わせるものに比較すれば構成が簡単になるという利点がある。しかも、光検出素子の各感光部の1つの出力から対象空間の各位置に関する濃度値と距離値とを得る

ことができ、濃度値と距離値とが同じ画素から得られるから、濃淡画像内での対象物の位置と距離値との対応付けの処理が不要になるという利点を有する。

【発明を実施するための最良の形態】

【0016】

まず、本実施形態で用いる距離画像センサの基本構成について説明する。距離画像センサ10は、図1に示すように、対象空間に光を照射する発光源2を備えるとともに、対象空間からの光を受光し受光光量を反映した出力が得られる光検出素子1を備える。対象空間に存在する対象物Obまでの距離は、発光源2から対象空間に光が照射されてから対象物Obでの反射光が光検出素子1に入射するまでの時間（「飛行時間」と呼ぶ）によって求める。ただし、飛行時間は非常に短いから、対象空間に照射する光の強度が一定周期で周期的に変化するように変調した強度変調光を用い、強度変調光を受光したときの位相を用いて飛行時間を求める。

【0017】

図2(a)に示すように、発光源2から空間に放射する光の強度が曲線イのように変化し、光検出素子1で受光した受光光量が曲線ロのように変化するとすれば、位相差 ϕ は飛行時間に相当するから、位相差 ϕ を求めることにより対象物Obまでの距離を求めることができる。また、位相差 ϕ は、曲線イの複数のタイミングで求めた曲線ロの受光光量を用いて計算することができる。たとえば、曲線イにおける位相が0度、90度、180度、270度の位相で求めた曲線ロの受光光量がそれぞれA0、A1、A2、A3であるとする（受光光量A0、A1、A2、A3を斜線部で示している）。ただし、各位相における受光光量A0、A1、A2、A3は、瞬時値ではなく所定の受光期間Twで積算した受光光量を用いる。いま、受光光量A0、A1、A2、A3を求める間に、位相差 ϕ が変化せず（つまり、対象物Obまでの距離が変化せず）、かつ対象物Obの反射率にも変化がないものとする。また、発光源2から放射する光の強度を正弦波で変調し、時刻tにおいて光検出素子1で受光される光の強度が $A \cdot \sin(\omega t + \delta) + B$ で表されるものとする。ここに、Aは振幅、Bは直流成分（外光成分と反射光成分との平均値）、 ω は角振動数、 δ は初期位相である。光検出素子1で受光する受光光量A0、A1、A2、A3を受光期間Twの積算値ではなく瞬時値とし、変調信号の周期に同期した時刻 $t = n/f$ （ $n = 0, 1, 2, \dots$ 、fは変調の周波数）における受光光量を、 $A0 = A \cdot \sin(\delta) + B$ とすれば、受光光量A0、A1、A2、A3は、次のように表すことができる。なお、反射光成分とは、発光源2から放射され対象物Obにより反射された後に光検出素子1に入射する光の成分を意味する。

$$A0 = A \cdot \sin(\delta) + B$$

$$A1 = A \cdot \sin(\pi/2 + \delta) + B$$

$$A2 = A \cdot \sin(\pi + \delta) + B$$

$$A3 = A \cdot \sin(3\pi/2 + \delta) + B$$

図2では位相差が ϕ であるから、光検出素子1で受光する光の強度変化の波形における初期位相 δ （時刻 $t = 0$ の位相）は $-\phi$ になる。つまり、 $\delta = -\phi$ であるから、 $A0 = -A \cdot \sin(\phi) + B$ 、 $A1 = A \cdot \cos(\phi) + B$ 、 $A2 = A \cdot \sin(\phi) + B$ 、 $A3 = -A \cdot \cos(\phi) + B$ であり、結果的に、各受光光量A0、A1、A2、A3と位相差 ϕ との関係は、次式のようにになる。

$$\phi = \tan^{-1} \{ (A2 - A0) / (A1 - A3) \} \quad \dots (1)$$

(1)式では受光光量A0、A1、A2、A3の瞬時値を用いているが、受光光量A0、A1、A2、A3として受光期間Twにおける積算値を用いても(1)式で位相差 ϕ を求めることができる。

【0018】

また、光検出素子1で受光される光の強度を $A \cdot \cos(\omega t + \delta) + B$ とする場合、つまり変調信号の周期に同期した時刻 $t = n/f$ （ $n = 0, 1, 2, \dots$ ）における受光光量を、 $A0 = A \cdot \cos(\delta) + B$ とすれば、位相差 ϕ を次式で求めることができる。

$$\phi = \tan^{-1} \{ (A1 - A3) / (A0 - A2) \}$$

この関係は、変調信号に同期させるタイミングを90度ずらした関係である。また、距離値の符号は正であるから、位相差 ϕ を求めたときに符号が負になる場合には、 \tan^{-1} の括弧内の分母または分子の各項の順序を入れ換えるか括弧内の絶対値を用いるようにしてもよい。

【0019】

上述のように対象空間に照射する光の強度を変調するために、発光源2としては、たとえば多数個の発光ダイオードを一平面上に配列したものや半導体レーザと発散レンズとを組み合わせたものなどを用いる。また、発光源2は、制御回路部3から出力される所定の変調周波数である変調信号によって駆動され、発光源2から放射される光は変調信号により強度が変調される。制御回路部3では、たとえば20MHzの正弦波で発光源2から放射する光の強度を変調する。なお、発光源2から放射する光の強度は正弦波で変調する以外に、三角波、鋸歯状波などで変調してもよく、要するに、一定周期で強度を変調するのであれば、どのような構成を採用してもよい。

【0020】

光検出素子1は、規則的に配列された複数個の感光部11を備える。また、感光部11への光の入射経路には受光光学系9が配置される。感光部11は光検出素子1において対象空間からの光が受光光学系9を通して入射する部位であって、感光部11において受光光量に応じた量の電荷を生成する。つまり、感光部11は受光光量に応じた電気出力を発生する。また、感光部11は、平面格子の格子点上に配置され、たとえば垂直方向（つまり、縦方向）と水平方向（つまり、横方向）とにそれぞれ等間隔で複数個ずつ並べたマトリクス状に配列される。

【0021】

受光光学系9は、光検出素子1から対象空間を見るとき視線方向と各感光部11とを対応付ける。すなわち、受光光学系9を通して各感光部11に光が入射する範囲を、受光光学系9の中心を頂点とし各感光部11ごとに設定された頂角の小さい円錐状の視野とみなすことができる。したがって、発光源2から放射され対象空間に存在する対象物0bで反射された反射光が感光部11に入射すれば、反射光を受光した感光部11の位置により、受光光学系9の光軸を基準方向として対象物0bの存在する方向を知ることができる。

【0022】

受光光学系9は一般に感光部11を配列した平面に光軸を直交させるように配置されるから、受光光学系9の中心を原点とし、感光部11を配列した平面の垂直方向と水平方向と受光光学系9の光軸とを3軸の方向とする直交座標系を設定すれば、対象空間に存在する対象物0bの位置を球座標で表したときの角度（いわゆる方位角と仰角）が各感光部11に対応する。なお、受光光学系9は、感光部11を配列した平面に対して光軸が90度以外の角度で交差するように配置することも可能である。

【0023】

本実施形態では、上述のように、対象物0bまでの距離を求めるために、発光源2から対象空間に照射される光の強度変化に同期する4点のタイミングで受光光量A0、A1、A2、A3を求めている。したがって、目的の受光光量A0、A1、A2、A3を得るためのタイミングの制御が必要である。また、発光源2から対象空間に照射される光の強度変化の1周期において感光部11で発生する電荷の量は少ないから、複数周期に亘って電荷を集積することが望ましい。そこで、図1のように各感光部11で発生した電荷をそれぞれ集積する複数個の電荷集積部13を設けるとともに、各感光部11の感度をそれぞれ調節する複数個の感度制御部12を設けている。

【0024】

各感度制御部12では、感度制御部12に対応する感光部11の感度を上述した4点のうちいずれかのタイミングで高め、感度が高められた感光部11では当該タイミングの受光光量A0、A1、A2、A3に対応する電荷を主として生成するから、当該受光光量A0、A1、A2、A3に対応する電荷を当該感光部11に対応する電荷集積部13に集積させることができる。

【0025】

以下では、感度制御部12の具体的な構成として、感光部11で生成された電荷のうち電荷集積部13に与える電荷の割合を調節する技術と、実質的に感光部11として機能する部位の面積を変化させる技術とを示す。電荷集積部13に与える電荷の割合を調節する技術には、感光部11から電荷集積部13への通過率を調節する技術と、感光部11から電荷を廃棄する廃棄率を調節する技術と、通過率と廃棄率との両方を調節する技術とがある。

【0026】

感度制御部12において通過率と廃棄率とを調節する技術では、図3に示すように、感光部11と電荷集積部13との間にゲート電極12aを設け、ゲート電極12aに印加する通過電圧を変化させることにより、感光部11から電荷集積部13への電荷の移動（つまり、通過率）を制御する。また、電荷廃棄部12cを設け、電荷廃棄部12cに付設した廃棄電極12bに印加する廃棄電圧を変化させることにより、感光部11から電荷廃棄部12cへの電荷の移動（つまり、廃棄率）を制御する。電荷集積部13は感光部11ごとに一対一に対応するように設けられ、電荷廃棄部12cは複数個の感光部11に共通させて一対多に対応するように設けられる。図示例では、光検出素子1のすべての感光部11で1組の廃棄電極12bおよび電荷廃棄部12cを共用している。

【0027】

感度を制御するために、感光部11からの電荷の廃棄を行わずに感光部11から電荷集積部13への通過率の制御のみを行うことが考えられるが、電荷の廃棄を行わなければ感光部11において電荷が暫時残留するから、感光部11で生成された電荷のうち不要な残留電荷が、利用する電荷（以下、信号電荷という）に雑音成分として混入する。したがって、信号電荷への残留電荷の混入を防止するために、ゲート電極12aに印加する通過電圧だけでなく廃棄電極12bに印加する廃棄電圧を制御する。

【0028】

ゲート電極12aと廃棄電極12bとを用いて感度を制御するには、ゲート電極12aに印加する通過電圧を一定電圧に保つことにより感光部11で生成された電荷を電荷集積部13に通過可能としておき、感光部11で生成された電荷のうち信号電荷に用いる電荷が生成される期間以外には感光部11から電荷廃棄部12cに電荷が移動するように廃棄電極12bに廃棄電圧を印加する。要するに、感光部11において信号電荷として用いる電荷が生成される期間にのみ電荷廃棄部12cへの電荷の廃棄を行わず、他の期間には電荷廃棄部12cに電荷を廃棄することにより、信号電荷として用いようとする期間に生成された電荷のみを電荷集積部13に集積する。

【0029】

いま、図4（a）のような変調信号により発光源2から空間に照射される光の強度が変調されているとする。電荷集積部13には変調信号の複数周期（数万～数十万周期）において変調信号に同期する特定の区間の受光光量 A_0 、 A_1 、 A_2 、 A_3 に相当する電荷を集積し、各区間の電荷の集積毎に集積した信号電荷を取り出して次の区間の電荷を集積する。たとえば、受光光量 A_0 に相当する電荷を変調信号の数万周期について集積すると、この受光光量 A_0 に相当する信号電荷を一旦外部に取り出し、その後、受光光量 A_1 に相当する電荷を変調信号の数万周期について集積する。

【0030】

図4は受光光量 A_0 に相当する電荷を集積している状態を示しており、図4（b）に示すようにゲート電極12aに印加する通過電圧を一定電圧に保っている。また、受光光量 A_0 に相当する電荷としては、変調信号の位相が $0 \sim 90$ 度の区間において感光部11で生成された電荷を採用している。つまり、廃棄電極12bには、図4（c）のように変調信号の位相が $90 \sim 360$ 度の区間において、感光部11で生成される電荷を不要電荷とするように廃棄電圧を印加する。この制御により、図4（d）のように所望の区間の受光光量 A_0 に対応した信号電荷を電荷集積部13に集積することが可能になる。図4に示す処理は変調信号の数万～数十万周期について行われ、この期間に電荷集積部13に得られ

た信号電荷は受光光量 A_0 に対応する受光出力として電荷取出部 14 により取り出される。

【0031】

電荷取出部 14 から取り出された電荷は画像生成部 4 に画像信号として与えられ、画像生成部 4 において、対象空間内の対象物 O_b までの距離が、上述した (1) 式を用いて受光光量 A_0 、 A_1 、 A_2 、 A_3 に対応する受光出力から算出される。すなわち、画像生成部 4 では各感光部 11 に対応した各方向における対象物 O_b までの距離が算出され、対象空間の三次元情報が算出される。この三次元情報を用いると、対象空間の各方向に一致する画素の画素値が距離値である距離画像を生成することができる。

【0032】

なお、上述の制御では、廃棄電極 12b に廃棄電圧を印加している期間においてゲート電極 12a にも一定電圧である通過電圧を印加しているが、廃棄電圧と通過電圧との大小関係を適宜に設定すれば、不要電荷を廃棄している期間には信号電荷がほとんど集積されないようにすることができる。また、変調信号の数万～数十万周期について電荷を集積しているのは、集積する電荷量を多くすることによって高感度化するためであり、変調信号をたとえば 20 MHz と設定すれば、30 フレーム／秒で信号電荷を取り出すとしても、数十万周期以上の集積が可能になる。

【0033】

上述したように、廃棄電極 12b を備えた電荷廃棄部 12c を設け、感光部 11 に生じた電荷のうち信号電荷として利用しない不要電荷を電荷廃棄部 12c に積極的に廃棄しているから、感光部 11 において電荷集積部 13 に信号電荷を与えていない期間に感光部 11 で生成される電荷はほとんどが不要電荷として廃棄されることになり、信号電荷への雑音成分の混入が大幅に抑制される。

【0034】

上述の例では、ゲート電極 12a に一定電圧である通過電圧を印加している期間に廃棄電極 12b に廃棄電圧を印加する期間と印加しない期間とを設けることによって、廃棄電圧が印加されていない期間において感光部 11 に生成された電荷を信号電荷として用いているが、図 5 に示すように、ゲート電極 12a に通過電圧を印加する期間と廃棄電極 12b に廃棄電圧を印加する期間とが重複しないように制御してもよい。

【0035】

図 5 は受光光量 A_0 に対応する信号電荷を集積する場合の動作を示している。図 5 (a) は発光源 2 から空間に照射される光の強度を変調する変調信号を示しており、ゲート電極 12a には、図 5 (b) のように、受光光量 A_0 に対応するタイミングで通過電圧を印加する。ゲート電極 12a に通過電圧を印加する期間は、変調信号の位相における 0 度から一定期間 (図示例では 0～90 度) に設定され、この期間において感光部 11 から電荷集積部 13 への電荷の移動が可能になる。一方、廃棄電極 12b には、図 5 (c) のように、電荷集積部 13 に受光光量 A_0 に相当する信号電荷を集積する期間以外において廃棄電圧を印加し、信号電荷を集積する期間以外では感光部 11 で生成した電荷を不要電荷として電荷廃棄部 12c に廃棄する。このような制御によって、図 5 (d) のように受光光量 A_0 に相当する信号電荷を取り出すことが可能になる。

【0036】

図 5 に示す制御では、ゲート電極 12a に通過電圧を印加している期間と廃棄電極 12b に廃棄電圧を印加している期間とが異なるから、図 4 に示した制御例のように通過電圧と廃棄電圧との大小関係を考慮しなくとも通過電圧と廃棄電圧との大きさを独立して制御することができ、結果的に通過電圧および廃棄電圧の制御が容易になり、感光部 11 で受光した光量に対して信号電荷を取り込む割合である感度の制御が容易になるとともに、感光部 11 で生成された電荷のうち不要電荷として廃棄する割合の制御が容易になる。また、図 5 に示す制御例では、電荷集積部 13 に信号電荷を集積する期間はゲート電極 12a に印加する通過電圧により規定されるから、廃棄電極 12b に廃棄電圧を印加する期間を短縮することが可能であり、たとえば、ゲート電極 12a に通過電圧を印加する直前の所

定期間にのみ廃棄電極 1 2 b に廃棄電圧を印加することも可能である。

【 0 0 3 7 】

図 5 に示す制御を行えば、感光部 1 1 で生成した電荷を電荷集積部 1 3 に信号電荷として集積していない期間において感光部 1 1 で生成される電荷をほとんど不要電荷として廃棄するから、信号電荷への雑音成分の混入が大幅に抑制されることになる。

【 0 0 3 8 】

通過電圧と廃棄電圧との制御例としては、図 6 に示すように、廃棄電極 1 2 b に印加する廃棄電圧を一定電圧に保って感光部 1 1 で生成された電荷の一部をつねに廃棄するようにしてもよい。図 6 の制御例では、ゲート電極 1 2 a に通過電圧を印加する期間と印加しない期間とを設け、通過電圧を印加する期間を電荷集積部 1 3 に信号電荷を集積する期間としている。

【 0 0 3 9 】

図 6 は受光光量 A_0 に相当する信号電荷を集積する場合の動作を示している。図 6 (a) は発光源 2 から空間に照射される光の強度を変調する変調信号を示しており、電荷集積部 1 3 に設けたゲート電極 1 2 a には、図 6 (b) のように、受光光量 A_0 に対応する期間に通過電圧が印加され、感光部 1 1 において生成された電荷を受光光量 A_0 に相当する信号電荷として電荷集積部 1 3 に集積する。つまり、ゲート電極 1 2 a に通過電圧を印加する期間は、変調信号の位相における 0 度から一定期間 (図示例では 0 ~ 90 度) に設定され、この期間において感光部 1 1 から電荷集積部 1 3 への電荷の移動が可能になる。一方、廃棄電極 1 2 b には、図 6 (c) のように、直流電圧である一定電圧の廃棄電圧がつねに印加され、感光部 1 1 で生成された電荷の一部をつねに不要電荷として電荷廃棄部 1 2 c に廃棄する。上述の制御では、信号電荷を電荷集積部 1 3 に集積する期間にのみゲート電極 1 2 a に通過電圧を印加しているから、図 6 (d) のように受光光量 A_0 に相当する信号電荷を取り出すことが可能になる。

【 0 0 4 0 】

図 6 に示す制御では、ゲート電極 1 2 a に通過電圧を印加しているか否かにかかわらず廃棄電極 1 2 b に一定電圧の廃棄電圧を印加しているから、感光部 1 1 において生成された電荷のうち電荷集積部 1 3 に信号電荷として集積されなかった不要電荷は、廃棄電荷として電荷廃棄部 1 2 c に廃棄される。ここで、感光部 1 1 で生成された電荷の一部を信号電荷として電荷集積部 1 3 に集積する期間においても感光部 1 1 から電荷廃棄部 1 2 c への電荷の廃棄が継続しているから、信号電荷を電荷集積部 1 3 に適正に集積するために、通過電圧と廃棄電圧との大小関係を考慮する必要がある。ただし、廃棄電圧は一定電圧であって廃棄電極 1 2 b につねに印加しているだけであるから、実際には通過電圧のみを制御すればよく、制御自体は容易である。

【 0 0 4 1 】

図 3 に示した感度制御部 1 2 を備える光検出素子 1 は、オーバーフロードレインを備えた CCD イメージセンサにより実現することができる。CCD イメージセンサにおける電荷の転送方式はどのようなものでもよく、インターライントランスファ (I T) 方式、フレームトランスファ (F T) 方式、フレームインターライントランスファ (F I T) 方式のいずれであってもよい。

【 0 0 4 2 】

図 7 に縦型オーバーフロードレインを備えるインターライントランスファ方式の CCD イメージセンサの構成を示す。図示例は、感光部 1 1 となるフォトダイオード 4 1 を水平方向と垂直方向とに複数個ずつ (図では 3×4 個) 配列した 2 次元イメージセンサであって、垂直方向に配列したフォトダイオード 4 1 の各列の右側方に CCD からなる垂直転送レジスタ 4 2 を備え、フォトダイオード 4 1 および垂直転送レジスタ 4 2 が配列された領域の下方に CCD からなる水平転送レジスタ 4 3 を備える。垂直転送レジスタ 4 2 は各フォトダイオード 4 1 ごとに 2 個ずつの転送電極 4 2 a , 4 2 b を備え、水平転送レジスタ 4 3 は各垂直転送レジスタ 4 2 ごとに 2 個ずつの転送電極 4 3 a , 4 3 b を備える。

【 0 0 4 3 】

フォトダイオード41と垂直転送レジスタ42と水平転送レジスタ43とは1枚の半導体基板40上に形成され、半導体基板40の主表面には、フォトダイオード41と垂直転送レジスタ42と水平転送レジスタ43との全体を囲む形でアルミニウム電極であるオーバーフロー電極44が、半導体基板40の全周に亘って絶縁膜を介さずに半導体基板40に直接接触するように設けられる。オーバーフロー電極44に半導体基板40に対して正極性になる適宜の廃棄電圧を印加すればフォトダイオード41で生成された電子（電荷）はオーバーフロー電極44を通して廃棄される。オーバーフロー電極44は、感光部11であるフォトダイオード41において生成した電荷のうち不要電荷を廃棄する際に廃棄電圧が印加されるから廃棄電極12bとして機能し、オーバーフロー電極44に廃棄電圧を印加する電源が感光部11で生成された電子（電荷）を廃棄する電荷廃棄部12cとして機能する。半導体基板40の表面はフォトダイオード41に対応する部位を除いて遮光膜46（図8参照）により覆われる。

【0044】

図7に示したCCDイメージセンサについて、1個のフォトダイオード41に関連する部分を切り出して図8に示す。半導体基板40にはn形半導体を用い、半導体基板40の主表面にはフォトダイオード41と垂直転送レジスタ42とに跨る領域にp形半導体からなるウェル領域31を形成している。ウェル領域31は、フォトダイオード41に対応する領域に比較して垂直転送レジスタ42に対応する領域の厚み寸法が大きくなるように形成してある。ウェル領域31のうちフォトダイオード41に対応する領域にはn⁺形半導体層32を重ねて設けてあり、ウェル領域31とn⁺形半導体層32とのpn接合によってフォトダイオード41が形成される。フォトダイオード41の表面にはp⁺形半導体からなる表面層33を積層してある。表面層33はフォトダイオード41で生成された電荷を垂直転送レジスタ42に移動させる際に、n⁺形半導体層32の表面付近が電荷の通過経路にならないように制御する目的で設けてある。このような構造は、埋込フォトダイオードとして知られている。

【0045】

ウェル領域31のうち垂直転送レジスタ42に対応する領域にはn形半導体からなる蓄積転送層34を重ねて設けてある。蓄積転送層34の表面と表面層33の表面とは略同一平面であって、蓄積転送層34の厚み寸法は表面層33の厚み寸法よりも大きくしてある。蓄積転送層34は、表面層33とは接触しているが、n⁺形半導体層32との間には、表面層33と不純物濃度が等しいp⁺形半導体からなる分離層35が介在する。蓄積転送層34の表面には、絶縁膜45を介して転送電極42a、42bが配置される。転送電極42a、42bは1個のフォトダイオード41に対して2個ずつ設けられ、垂直方向において2個の転送電極42a、42bのうちの一方は他方よりも広幅に形成される。具体的には、図9のように、1個のフォトダイオード41に対応する2個の転送電極42a、42bのうち狭幅の転送電極42bは平板状に形成されており、広幅の転送電極42aは、幅狭の転送電極42bと同一平面上に配列され一対の転送電極42bの間に配置される平板状の部分と、平板状の部分の垂直方向（図9の左右方向）における両端部からそれぞれ延長され転送電極42bの上に重複する湾曲した部分とを備える。ここに、絶縁膜45はSiO₂により形成され、また転送電極42a、42bはポリシリコンにより形成され、各転送電極42a、42bは絶縁膜45を介して互いに絶縁されている。さらに、フォトダイオード41に光を入射させる部位を除いて光検出素子1の表面は遮光膜46により覆われる。ウェル領域31において垂直転送レジスタ42に対応する領域および蓄積転送層34は垂直転送レジスタ42の全長に亘って形成され、したがって、蓄積転送層34には広幅の転送電極42aと狭幅の転送電極42bとが交互に配列される。

【0046】

上述した光検出素子1では、フォトダイオード41が感光部11に相当し、転送電極42aがゲート電極12aに相当し、オーバーフロー電極44が廃棄電極12bに相当し、垂直転送レジスタ42が電荷集積部13および電荷取出部14の一部として機能する。また、水平転送レジスタ43も電荷取出部14の一部になる。すなわち、フォトダイオード

4 1 に光が入射すれば電荷が生成され、フォトダイオード 4 1 で生成された電荷のうち垂直転送レジスタ 4 2 に信号電荷として引き渡される電荷の割合は転送電極 4 2 a に印加する通過電圧とオーバーフロー電極 4 4 に印加する廃棄電圧との関係によって決めることができる。転送電極 4 2 a に通過電圧を印加すると蓄積転送層 3 4 にポテンシャル井戸が形成され、通過電圧の制御によりポテンシャル井戸の深さを制御することができる。したがって、ポテンシャル井戸の深さおよび通過電圧を印加する時間とを制御すれば、フォトダイオード 4 1 から垂直転送レジスタ 4 2 に引き渡される電荷の割合を調節することができる。また、オーバーフロー電極 4 4 に印加する廃棄電圧を制御すれば、フォトダイオード 4 1 と半導体基板 4 0 との間の電位勾配を制御することができるから、電位勾配と廃棄電圧を印加する時間とを制御すれば、垂直転送レジスタ 4 2 に引き渡される電荷の割合を調節することができる。通過電圧と廃棄電圧とは図 4 ないし図 6 に示した制御例のように制御すればよい。

【0047】

フォトダイオード 4 1 から垂直転送レジスタ 4 2 に引き渡された信号電荷は、上述した 4 区間の受光光量 A_0 、 A_1 、 A_2 、 A_3 のうちの各 1 区間の受光光量 A_0 、 A_1 、 A_2 、 A_3 に相当する信号電荷が集積されるたびに読み出される。たとえば、受光光量 A_0 に相当する信号電荷が各フォトダイオード 4 1 に対応して形成されるポテンシャル井戸に集積されると信号電荷を読み出し、次に受光光量 A_1 に相当する信号電荷がポテンシャル井戸に集積されると再び信号電荷を読み出すという動作を繰り返す。なお、各受光光量 A_0 、 A_1 、 A_2 、 A_3 に相当する信号電荷を集積する期間は等しく設定しておく。

【0048】

ところで、上述した制御例のうち、図 4 に示す制御例では、感光部 1 1（フォトダイオード 4 1）で生成された電荷（電子）を電荷集積部 1 3（垂直転送レジスタ 4 2）に対してつねに引き渡しているから、電荷集積部 1 3 に集積された電荷は必ずしも目的の受光光量 A_0 、 A_1 、 A_2 、 A_3 が得られる期間に生成された電荷だけではなく、目的外の期間に生成された電荷も混入することになる。いま、感度制御部 1 2 において、受光光量 A_0 、 A_1 、 A_2 、 A_3 に対応した電荷を生成する期間（つまり、受光期間 T_w ）の感度を α 、それ以外の期間（以下では、「保持期間」と呼ぶ）の感度を β とし、感光部 1 1 は受光光量に比例する電荷を生成するものとする。この条件では、受光光量 A_0 に対応した電荷を集積する電荷集積部 1 3 には、 $\alpha A_0 + \beta (A_1 + A_2 + A_3) + \beta A_x$ （ A_x は受光光量 A_0 、 A_1 、 A_2 、 A_3 が得られる期間以外の受光光量）に比例する電荷が集積され、受光光量 A_2 に対応した電荷を集積する電荷集積部 1 3 には、 $\alpha A_2 + \beta (A_0 + A_1 + A_3) + \beta A_x$ に比例する電荷が集積される。上述したように、位相差 ϕ を求める際には $(A_2 - A_0)$ を求めており、 $(A_2 - A_0)$ に相当する値を電荷集積部 1 3 に集積した電荷から求めると $(\alpha - \beta)(A_2 - A_0)$ になり、同様にして $(A_1 - A_3)$ に相当する値は $(\alpha - \beta)(A_1 - A_3)$ になるから、 $(A_2 - A_0) / (A_1 - A_3)$ は電荷の混入の有無によらず理論上は同じ値になるのであって、電荷が混入しても求める位相差 ϕ は同じ値になる。

【0049】

上述した構成例では、CCD イメージセンサを光検出素子 1 に用い、電荷集積部 1 3 に通過させる電荷の量と、電荷廃棄部 1 2 c に廃棄する電荷の量との少なくとも一方を制御することにより感度制御部 1 2 を構成する例を示したが、以下に示す感度制御部 1 2 は、感光部 1 1 において利用できる電荷を生成する領域の面積（実質的な受光面積）を変化させるものである。

【0050】

以下に光検出素子 1 の具体的構造例を説明する。図 10 に示す光検出素子 1 は、複数個（たとえば、 100×100 個）の感光部 1 1 をマトリクス状に配列したものであって、たとえば 1 枚の半導体基板上に形成される。1 個の感光部 1 1 は不純物を添加した半導体層 2 1 に酸化膜からなる絶縁膜 2 2 を介して複数個（図では 5 個）の制御電極 2 3 を配列した構成を有する。図示例では制御電極 2 3 が並ぶ方向（左右方向）が垂直方向であり、

感光部 1 1 で生成した電荷（本実施形態では、電子を用いる）を取り出す際には、垂直転送レジスタにより電荷を垂直方向に転送した後、水平転送レジスタを用いて水平方向に転送される。つまり、垂直転送レジスタと水平転送レジスタとにより電荷取出部 1 4 が構成される。垂直転送レジスタおよび水平転送レジスタの構成には、CCD イメージセンサにおけるインターライントランスファ（IT）方式、フレームトランスファ（FT）方式、フレームインターライントランスファ（FIT）方式と同様の構成を採用することができる。

【0051】

すなわち、垂直方向に並ぶ各感光部 1 1 が一体に連続する半導体層 2 1 を共用するとともに半導体層 2 1 を垂直転送レジスタに用いれば、半導体層 2 1 が感光部 1 1 と電荷の転送経路とに兼用された構造になり、FT 方式の CCD イメージセンサと同様にして電荷を垂直方向に転送することができ、また、感光部 1 1 から転送ゲートを介して垂直転送レジスタに電荷を転送すれば、IT 方式または FIT 方式の CCD イメージセンサと同様にして電荷を転送することができる。

【0052】

上述のように、半導体層 2 1 は不純物が添加してあり、半導体層 2 1 の主表面は酸化膜からなる絶縁膜 2 2 により覆われ、半導体層 2 1 に絶縁膜 2 2 を介して複数の制御電極 2 3 を配置している。この光検出素子 1 は MIS 素子として知られた構造であるが、1 個の光検出素子 1 として機能する領域に複数の（図示例では 5 個）の制御電極 2 3 を備える点が通常の MIS 素子とは異なる。絶縁膜 2 2 および制御電極 2 3 は発光源 2 から対象空間に照射される光と同波長の光が透過するように材料が選択され、絶縁膜 2 2 を通して半導体層 2 1 に光が入射すると、半導体層 2 1 の内部に電荷が生成される。図示例の半導体層 2 1 の導電形は n 形であり、光の照射により生成される電荷として電子 e を利用する。図 1 0 は 1 個の感光部 1 1 に対応する領域のみを示したものであり、半導体基板（図示せず）には上述したように図 1 0 の構造を持つ領域が複数の配列されるとともに電荷取出部 1 4 となる構造が設けられる。電荷取出部 1 4 として設ける垂直転送レジスタは、図 1 0 の左右方向に電荷を転送することを想定しているが、図 1 0 の面に直交する方向に電荷を転送する構成を採用することも可能である。また、電荷を図の左右方向に転送する場合には、制御電極 2 3 の左右方向の幅寸法を $1\ \mu\text{m}$ 程度に設定するのが望ましい。

【0053】

この構造の光検出素子 1 では、制御電極 2 3 に正の制御電圧 $+V$ を印加すると、半導体層 2 1 には制御電極 2 3 に対応する部位に電子 e を集積するポテンシャル井戸（空乏層）2 4 が形成される。つまり、半導体層 2 1 にポテンシャル井戸 2 4 を形成するように制御電極 2 3 に制御電圧を印加した状態で光が半導体層 2 1 に照射されると、ポテンシャル井戸 2 4 の近傍で生成された電子 e の一部はポテンシャル井戸 2 4 に捕獲されてポテンシャル井戸 2 4 に集積され、残りの電子 e は半導体層 2 1 の深部での再結合により消滅する。また、ポテンシャル井戸 2 4 から離れた場所で生成された電子 e も半導体層 2 1 の深部での再結合により消滅する。

【0054】

ポテンシャル井戸 2 4 は制御電圧を印加した制御電極 2 3 に対応する部位に形成されるから、制御電圧を印加する制御電極 2 3 の個数を変化させることによって、半導体層 2 1 の主表面に沿ったポテンシャル井戸 2 4 の面積（言い換えると、受光面において利用できる電荷を生成する領域の面積）を変化させることができる。つまり、制御電圧を印加する制御電極 2 3 の個数を変化させることは感度制御部 1 2 における感度の調節を意味する。たとえば、図 1 0（a）のように 3 個の制御電極 2 3 に制御電圧 $+V$ を印加する場合と、図 1 0（b）のように 1 個の制御電極 2 3 に制御電圧 $+V$ を印加する場合とでは、ポテンシャル井戸 2 4 が受光面に占める面積が変化するのであって、図 1 0（a）の状態のほうがポテンシャル井戸 2 4 の面積が大きいから、図 1 0（b）の状態に比較して同光量に対して利用できる電荷の割合が多くなり、実質的に感光部 1 1 の感度を高めたことになる。このように、感光部 1 1 および感度制御部 1 2 は半導体層 2 1 と絶縁膜 2 2 と制御電極 2

3 により構成されていると言える。ポテンシャル井戸 2 4 は光照射により生成された電荷を保持するから電荷集積部 1 3 として機能する。

【 0 0 5 5 】

上述したように、ポテンシャル井戸 2 4 から電荷を取り出すには、C C D イメージセンサと同様の技術を採用する。たとえば感光部 1 1 を垂直転送レジスタとして用いる場合は、ポテンシャル井戸 2 4 に電子 e が集積された後に、電荷の集積時とは異なる印加パターンの制御電圧を制御電極 2 3 に印加することによってポテンシャル井戸 2 4 に集積された電子 e を一方向（たとえば、図の右方向）に転送することができる。あるいはまた、感光部 1 1 とは別に設けた垂直転送レジスタに転送ゲートを介して感光部 1 1 から電荷を転送する構成を採用することもできる。垂直転送レジスタからは水平転送レジスタに電荷を引き渡し、水平転送レジスタを転送された電荷は、半導体基板に設けた図示しない電極から光検出素子 1 の外部に取り出される。

【 0 0 5 6 】

図 1 0 に示す構成における感度制御部 1 2 は、利用できる電荷を生成する面積を大小 2 段階に切り換えることにより感光部 1 1 の感度を高低 2 段階に切り換えるのであって、受光光量 A_0 、 A_1 、 A_2 、 A_3 のいずれかに対応する電荷を感光部 1 1 で生成しようとする受光期間にのみ高感度とし（電荷を生成する面積を大きくし）、他の期間である保持期間には低感度にする。高感度にする受光期間と低感度にする保持期間とは、発光源 2 を駆動する変調信号に同期させて設定される。具体的には、変調信号に同期する特定の区間（特定位相の区間）において、電荷を生成する面積を大きくして感光部 1 1 で生成した電荷を集積し、上記特定区間以外の他の区間において、電荷を生成する面積を小さくして感光部 1 1 で生成した電荷を蓄積する。すなわち、感光部 1 1 において、電荷を集積する機能と蓄積する機能とが交互に実現される。ここで、集積とは電荷を集めることを意味し、蓄積とは電荷を保持することを意味する。言い換えると、図 1 0 に示す構成では、感光部 1 1 に設けた電荷集積部 1 3 の大きさ（面積）を変化させることにより、電荷を集積する期間には感光部 1 1 で生成された電荷の集積率を大きくし、電荷を蓄積する期間には感光部 1 1 で生成された電荷の集積率を小さくするのである。

【 0 0 5 7 】

また、変調信号の複数周期に亘ってポテンシャル井戸 2 4 に電荷を集積した後に電荷取出部 1 4 を通して光検出素子 1 の外部に電荷を取り出すようにしている。変調信号の複数周期に亘って電荷を集積しているのは、変調信号の 1 周期内では感光部 1 1 が利用可能な電荷を生成する期間が短く（たとえば、変調信号の周波数を 2 0 M H z とすれば 5 0 n s の 4 分の 1 以下）、生成される電荷が少ないからである。つまり、変調信号の複数周期分の電荷を集積することにより、信号電荷（発光源 2 から照射された光に対応する電荷）と不要電荷（主に外光成分および光検出素子 1 の内部で発生するショットノイズに対応する電荷）との比を大きくとることができ、大きな S N 比が得られる。

【 0 0 5 8 】

ところで、位相差 ϕ を求めるのに必要な 4 区間の受光光量 A_0 、 A_1 、 A_2 、 A_3 に対応する電荷を 1 個の感光部 1 1 で生成するとすれば、視線方向に関する分解能は高くなるが、各受光光量 A_0 、 A_1 、 A_2 、 A_3 に対応する電荷を求める時間差が大きくなるという問題が生じる。一方、各受光光量 A_0 、 A_1 、 A_2 、 A_3 に対応する電荷を 4 個の感光部 1 1 でそれぞれ生成するとすれば、各受光光量 A_0 、 A_1 、 A_2 、 A_3 に対応する電荷を求める時間差は小さくなるが、4 区間の電荷を求める視線方向にずれが生じ視線方向に関する分解能は低下する。そこで、2 個の感光部 1 1 を用いることにより、変調信号の 1 周期内で受光光量 A_0 、 A_1 、 A_2 、 A_3 に対応する電荷を 2 種類ずつ生成する構成を採用してもよい。つまり、2 個の感光部 1 1 を組にして用い、組になる 2 個の感光部 1 1 に同じ視線方向からの光が入射するようにしてもよい。

【 0 0 5 9 】

この構成を採用することにより、視線方向の分解能を比較的高くし、かつ受光光量 A_0 、 A_1 、 A_2 、 A_3 に対応する電荷を生成する時間差を少なくすることができる。つまり

、受光光量 A_0 、 A_1 、 A_2 、 A_3 に対応する電荷を生成する時間差を少なくしていることにより、対象空間の中で移動している対象物 O_b についても距離の検出精度を比較的高く保つことができる。なお、この構成では、1 個の感光部 11 で 4 区間の受光光量 A_0 、 A_1 、 A_2 、 A_3 に対応する電荷を生成する場合よりも視線方向の分解能が低下するが、視線方向の分解能については感光部 11 の小型化や受光光学系 9 の設計によって向上させることが可能である。

【0060】

図 10 に示した例では、1 個の感光部 11 について 5 個の制御電極 23 を設けた例を示しているが、両側の 2 個の制御電極 23 は、感光部 11 で電荷（電子 e ）を生成している間に隣接する感光部 11 に電荷が流出するのを防止するための障壁を形成するものであって、2 個の感光部 11 を組にして用いる場合には隣接する感光部 11 のポテンシャル井戸 24 の間には、いずれかの感光部 11 で障壁が形成されるから、各感光部 11 には 3 個ずつの制御電極 23 を設けるだけで足りることになる。この構成によって、感光部 11 の 1 個当たりの占有面積が小さくなり、2 個の感光部 11 を組にして用いながらも視線方向の分解能の低下を抑制することが可能になる。

【0061】

なお、上述した距離画像センサ 10 の構成例では、受光光量 A_0 、 A_1 、 A_2 、 A_3 に対応する 4 区間を変調信号の 1 周期内で位相の間隔が 90 度ずつになるように設定しているが、変調信号に対する位相が既知であれば 4 区間は 90 度以外の適宜の間隔で設定することが可能である。ただし、間隔が異なれば位相差 ϕ を求める算式は異なる。また、4 区間の受光光量 A_0 、 A_1 、 A_2 、 A_3 に対応した信号電荷を取り出す周期は、対象物 O_b の反射率および外光成分が変化せず、かつ位相差 ϕ も変化しない時間内であれば、変調信号の 1 周期内で 4 区間の信号電荷を取り出すことも必須ではない。さらに、太陽光や照明光のような外乱光の影響があるときには、発光源 2 から放射される光の波長のみを透過させる光学フィルタを感光部 11 の前に配置するのが望ましい。

【0062】

ところで、上述した距離画像センサ 10 では、各感光部 11 において受光光量に応じた量の電荷を生成（電気出力を発生）するから、各受光光量 A_0 、 A_1 、 A_2 、 A_3 は対象物 O_b の明るさを反映している。つまり、受光光量 A_0 、 A_1 、 A_2 、 A_3 から得られる直流成分 B は濃淡画像における濃度値に相当する。換言すれば、各感光部 11 での受光光量 A_0 、 A_1 、 A_2 、 A_3 を用いると、対象物 O_b までの距離を求めるほか、対象物 O_b の濃度値も得ることが可能になる。しかも、同じ位置の感光部 11 を用いて対象物 O_b の距離と濃度値とを求めるから、同じ位置について濃度値と距離値との両方の情報を得ることが可能になる。そこで、本実施形態の画像生成部 4 では距離画像とともに濃淡画像を生成し、同じ感光部 11 から距離画像と濃淡画像とを生成する。したがって、画像生成部 4 では、対象空間の同じ位置についてほぼ同時刻の距離値と濃度値とを求めることが可能になる。濃度値としては、受光光量 A_0 、 A_1 、 A_2 、 A_3 の平均値（つまり、直流成分 B ）を用いるから、発光源 2 からの強度変調の光の影響を除去できる。ただし、距離画像を生成する際の光検出素子 1 への外光成分の入射を低減するために、発光源 2 から赤外線を対象空間に照射し、光検出素子 1 の前方に赤外線透過フィルタを配置しており、濃淡画像は赤外線に対する濃淡画像になる。

【0063】

次に、上述した距離画像センサ 10 を用いて対象空間における所望の部位の実寸を算出する技術について説明する。図 1 に示すように、画像生成部 4 で生成された距離画像は計測点抽出部 5 に与えられ、計測点抽出部 5 では、対象空間において実寸を計測しようとする部位が濃淡画像内の複数の計測点として指定される。計測点は、利用者が指定する方法と、利用者によらず自動的に指定する方法とがある。図 1 に示す構成例では、利用者が濃淡画像から計測点を指定するために、濃淡画像を表示するモニタ装置 5a と、モニタ装置 5a の画面内で所望の計測点を指定するためのマウスのようなポインティングデバイスからなる位置指定装置 5b とを備える。モニタ装置 5a に表示される濃淡画像は赤外線によ

る濃淡画像であるが、人が目視した対象物 O b に近い形状で表示されるから、距離画像に対して計測点を指定する場合よりも、対象物 O b と計測点との位置関係がわかりやすくなる。

【 0 0 6 4 】

計測点抽出部 5 において濃淡画像の画面上で指定した計測点は、画像生成部 4 で生成された距離画像とともに実寸算出部 6 に与えられる。実寸算出部 6 では、計測点抽出部 5 で指定された計測点に対応する画素の距離値を距離画像から求め、また、実寸を計測しようとする距離画像内での各 2 個の計測点の位置を求める。距離画像内での計測点の位置と距離とがわかれば、対象空間において計測点に対応する部位の位置を三次元で特定することができるから、実寸算出部 6 では、計測点に対応する部位の三次元位置から 2 個の計測点に対応する部位間の実寸を求める。実寸算出部 6 で求めた実寸は、モニタ装置 5 a に表示したり、プリンタにより印刷したり、他装置で利用したりすることができる。とくに、モニタ装置 5 a に表示された濃淡画像において 2 個の計測点間を結ぶ直線を表示し、この直線の長さとして実寸を示すようにすれば、対象物 O b のどの部位の実寸を計測したかがわかりやすくなる。

【 0 0 6 5 】

上述のように計測点を 2 個指定すれば対象空間において両計測点間に対応する部位の実寸を求めることができるが、複数箇所の実寸を次々に計測したい場合もある。そこで、計測点を指定する方法を選択できるように、モニタ装置 5 a の画面上にパレットを表示し、パレットに計測点を指定する方法を選択するための複数のシンボルを配列しておくのが望ましい。たとえば、計測点を 2 点指定すれば実寸を計測する方法のほか、3 個以上の計測点を次々に指定すると、指定した順に時系列で並ぶ各 2 個ずつの計測点間の実寸を次々に計測する方法、対象物 O b の輪郭に沿って多数の計測点を指定することにより対象物 O b を囲むと輪郭線上の最大および最小の幅に相当する計測点間の実寸を求める方法など種々の計測方法を選択可能とするのが望ましい。

【 0 0 6 6 】

また、計測点抽出部 5 に設けた位置指定装置 5 b では、モニタ装置 5 a の画面上で利用者が適宜の位置を指定するから、同じ対象物 O b であっても必ずしも同じ計測点を指定することはできない。そこで、濃淡画像と距離画像との少なくとも一方を用いて対象物 O b の輪郭線を抽出し、輪郭線に対して所定距離内で計測点を指定すると、計測点を輪郭線上に配置する処理を行ってもよい。輪郭線の抽出にあたって、濃淡画像については濃度変化の大きい部位を空間微分のような周知の技術で抽出すればよい。また、距離画像についても距離の変化が大きくなる部位を距離値に関する微分によって抽出する。微分後に 2 値化すれば濃度変化や距離変化が極大になる部位を抽出できるから、抽出した部位の細線化によって輪郭線となるエッジを抽出すればよい。輪郭線の抽出に関する技術について詳述しないが、濃淡画像については周知技術であり、距離画像については濃淡画像における濃度値を距離値に代えて同様の処理を行えば輪郭線を抽出することが可能である。濃淡画像と距離画像とをともに用いて輪郭線を抽出する場合には、濃淡画像と距離画像とから得られる輪郭線のうち一致する輪郭線のみを採用したり、それぞれから得られる輪郭線を両方とも採用したりすることができる。

【 0 0 6 7 】

上述したようにモニタ装置 5 a の画面上で計測点を利用者が指定する場合には、任意の形状の対象物 O b について実寸を計測することができるが、対象物 O b の形状が既知である場合には、濃淡画像から規定した形状の対象物 O b の位置を自動的に抽出し、対象物 O b の形状に応じてあらかじめ設定されている計測点を用いて実寸を算出するようにしてもよい。対象物 O b の位置を濃淡画像から抽出するには、対象物 O b の全体形状をあらかじめ用意したテンプレートと照合する技術を用いればよい。このように、規定の形状の対象物 O b について実寸を求める方法についても、モニタ装置 5 a の画面上に表示するパレットに選択肢として設けておけばよく、その場合には、パレット内に対象物 O b の形状も選択肢として用意しておくのが望ましい。また、上述の例では濃淡画像によって対象物 O b

の位置を抽出しているが、距離画像によっても濃淡画像と同様の技術で対象物O bの位置を抽出し、両者で得られた位置の平均の位置を対象物O bの位置として採用するようにしてもよい。

【0068】

ところで、図1に示す構成では、対象空間において2個の計測点に対応する部位間の実寸を算出するだけでなく、対象物O bの体積も求めるために体積算出部8を設けている。体積算出部8は、三次元形状が既知である対象物O bについて体積を推定して算出することができる。対象物O bの三次元形状が既知である対象物O bとは、たとえば直方体状の箱、飲料用の容器、人などであって、実寸と向きとがわかれば体積を推定して算出することが可能なものを対象にしている。種々形状の箱の体積を算出すれば運搬車に箱を効率よく積載する組合せを考えることができ、また飲料用の容器の体積を算出すれば洗浄して再利用する容器の種類を判断する際の情報として用いることができ、人の体積を寸法（身長など）と併せて算出すれば遊技施設などにおいて利用可能か否かの判断に役立てることができる。

【0069】

対象物O bが既知形状であっても体積算出部8において体積を算出するには、まず濃淡画像または距離画像の画像内において対象物O bを特定し、特定した対象物O bから実寸と向きとを知る必要がある。そこで、画像生成部4で生成された濃淡画像と距離画像との少なくとも一方を形状推定部7に入力し、形状推定部7において対象物O bの形状を推定する。形状推定部7において濃淡画像と距離画像との少なくとも一方を用いて対象物O bを抽出する方法には種々の方法がある。対象物O bを抽出するもっとも簡単な方法としては濃淡画像をモニタ装置の画面に表示し、所望の対象物O bを含む矩形領域をマウスなどによって指定する方法を採用することができる。

【0070】

一方、対象物O bを自動的に抽出する場合には、たとえば濃淡画像と距離画像との少なくとも一方に対して微分処理を行った後に2値化して対象物O bのエッジに相当する領域を抽出し、抽出された領域のうち対象物O bを抽出しようとする距離範囲内に存在する領域を対象物O bの候補領域とし、さらに候補領域がひとかたまりになるか否かを評価し（たとえば、隣接する2個の候補領域間の三次元空間での距離差が閾値以下である場合に、両候補領域を連続した1つの対象物O bに含まれる領域とみなす）、さらに、ひとかたまりになる領域（つまり、連結領域）に囲まれる画素数と距離値とを用いて対象物O bの大きさを評価すればよい（同じ対象物O bであれば、画素数は距離の二乗に反比例する）。あるいはまた、対象物O bが移動する場合には、距離画像の距離値を微分した後に2値化し、異なる時刻の距離画像から得られる2値化した画像の差分をとれば、移動した対象物O bを抽出することができる。さらにまた、着目する対象物O bを背景から分離するために、あらかじめ対象物O bの存在しない状態で背景のみから生成した距離画像と、対象物O bが存在する状態で生成した距離画像との差分画像（対応する各画素ごとの差分を画素値に持つ画像）を生成し、この差分画像について微分および2値化を行えば対象物O bの存在する領域の抽出が容易になる。

【0071】

上述のような方法で対象物O bの存在する領域を抽出した後、形状推定部7では対象物O bの濃淡画像と距離画像との少なくとも一方を用いて対象物O bのエッジを抽出する。エッジの抽出は上述したように濃淡画像または距離画像に対して微分処理を行った後に2値化すればよい。濃淡画像の微分はたとえば着目する画ぞの8近傍の画像を用いて求める周知の方法を採用すればよいが、エッジを抽出する際にはソーベルフィルタのようなエッジ強調フィルタを用いて微分処理を行ってもよい。また、距離画像によってエッジを抽出する場合も濃淡画像と同様の演算を行うことにより、画素間の距離差の大きい部位を抽出することができる。なお、微分処理によって抽出したエッジは分断されていることがあるので、適宜に延長処理を行うとともに細線化処理を行うことにより、対象物O bのエッジを連続した1画素幅のエッジとして抽出するのが望ましい。

【 0 0 7 2 】

形状推定部 7 ではエッジを抽出した後に、対象物 O b を構成しているエッジの特徴を用いて対象物 O b の形状および向きを判別する。たとえば、直方体状の箱を上方から斜め下向きに撮像しているとすれば、画像内での対象物 O b の二次元形状は 2 個または 3 個の平行四辺形の集合になるから、このような形状の特徴に関する知識の集合である知識ベース（ここでは i f - t h e n ルールを想定する）を構築しておき、エッジの特徴を知識ベースに照合することによって着目する形状の対象物 O b か否かを判断し、さらに対象物 O b の向きを求める。対象物 O b の実寸については実寸算出部 6 で求められるから、体積算出部 8 では、形状推定部 7 で求めた対象物 O b の形状および向きと、実寸算出部 6 で求めた対象物 O b の形状と実寸（高さ、幅と奥行き）とを用いて対象物 O b の体積を算出する。なお、体積を求める際の対象物 O b の実寸は、体積を求めるのに必要な部位を知識ベースとの照合により抽出し、当該部位の寸法をエッジから求めるようにすれば、体積の演算を自動化することができる。また、実寸を算出する場合と同様に、計測点抽出部 5 を用いて利用者が体積を求めるのに必要な計測点を濃淡画像から指定してもよい。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 7 3 】

【図 1】 本発明の実施形態を示すブロック図である。

【図 2】 同上の動作説明図である。

【図 3】 同上における感度制御部の構成例を示すブロック図である。

【図 4】 同上の動作例を示す説明図である。

【図 5】 同上の他の動作例を示す説明図である。

【図 6】 同上のさらに他の動作例を示す説明図である。

【図 7】 同上に用いる光検出素子の構成例を示す平面図である。

【図 8】 図 7 に示した光検出素子の要部分解斜視図である。

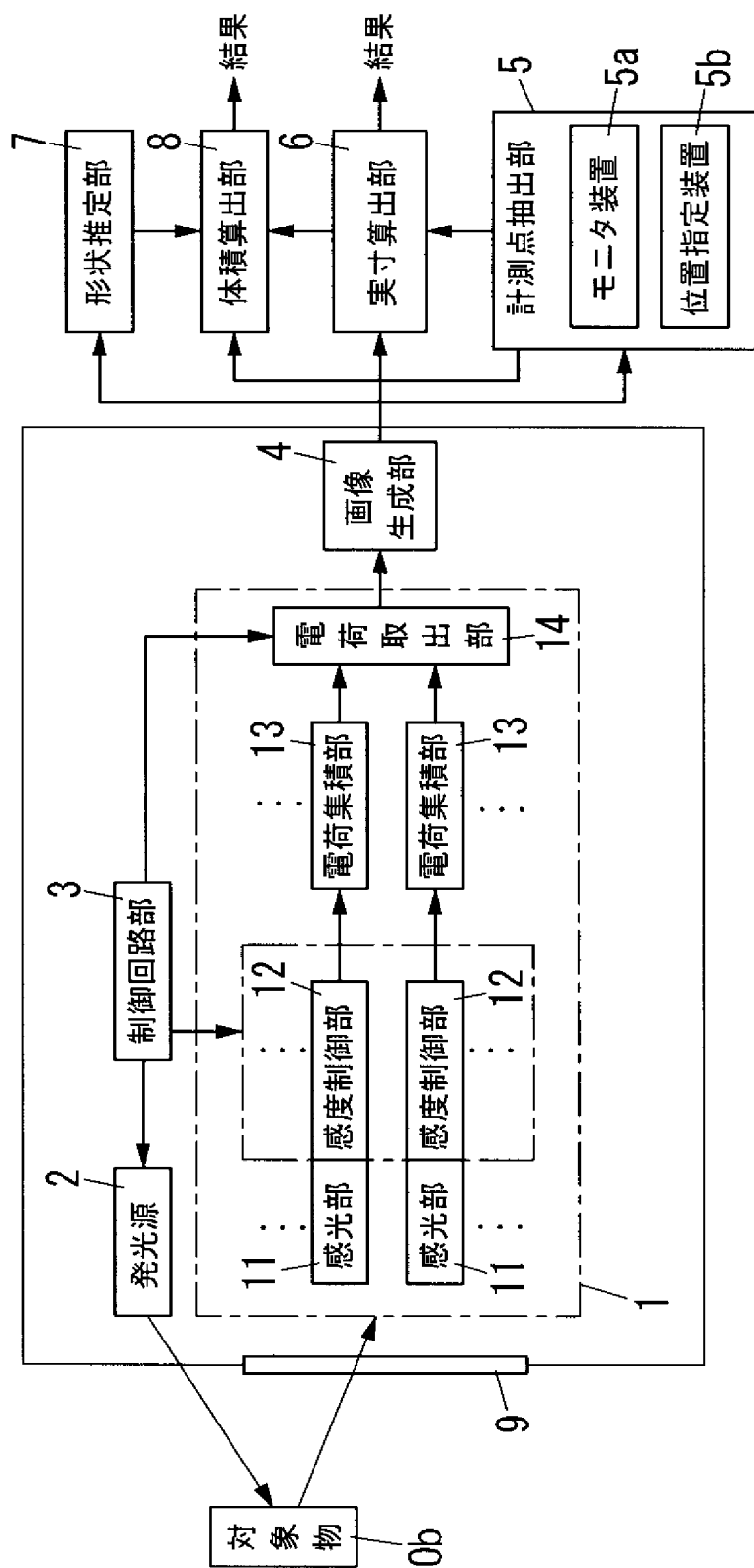
【図 9】 図 8 の A - A 線断面図である。

【図 1 0】 同上に用いる光検出素子の要部の動作説明図である。

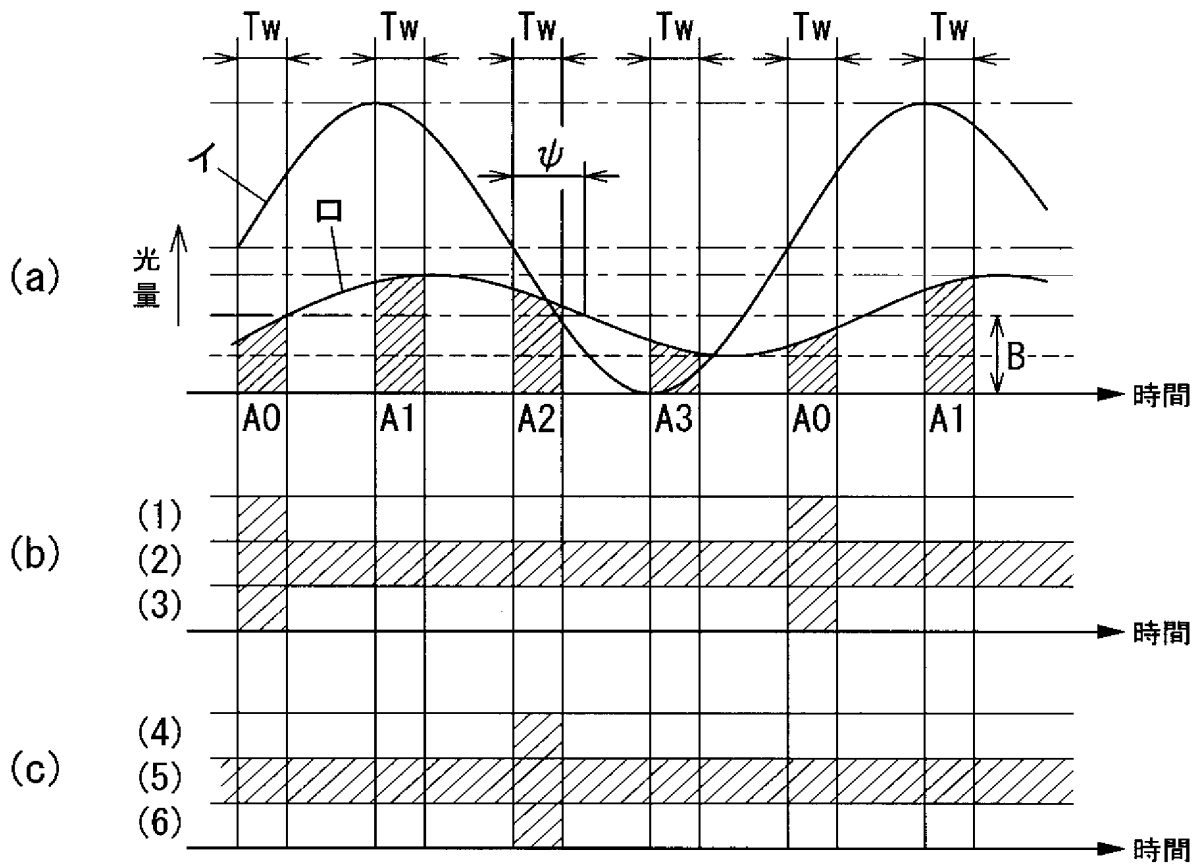
【符号の説明】

【 0 0 7 4 】

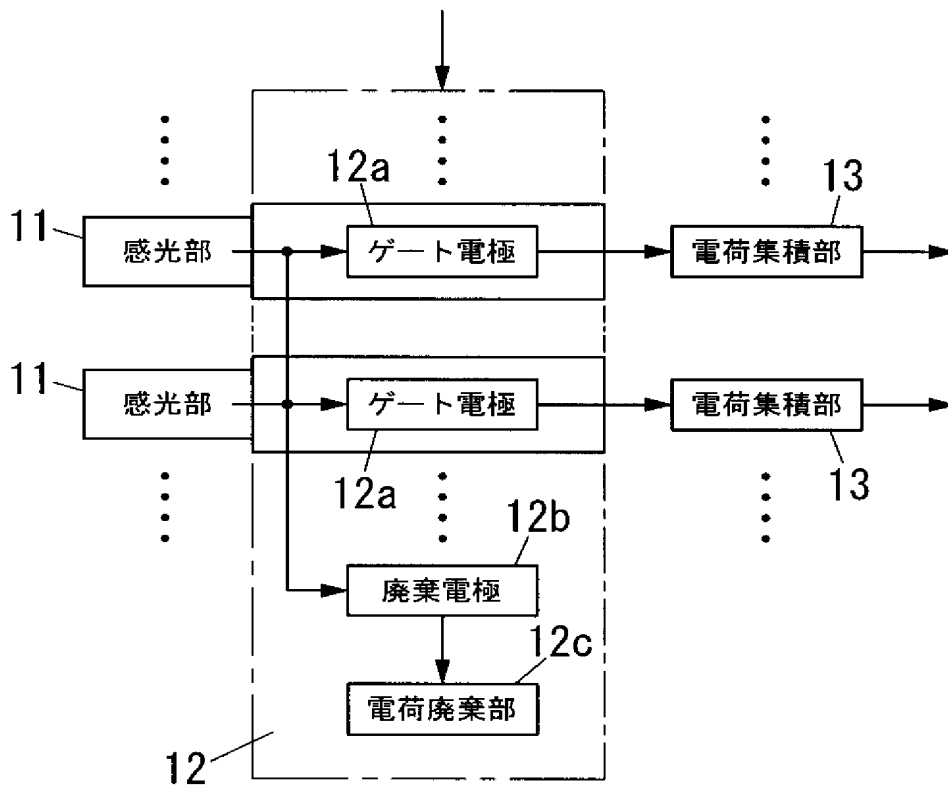
- 1 光検出素子
- 2 発光源
- 3 制御回路部
- 4 画像生成部
- 5 計測点抽出部
- 5 a モニタ装置
- 5 b 位置指定装置
- 6 実寸算出部
- 7 形状推定部
- 8 体積算出部
- 9 受光光学系
- 1 1 感光部
- O b 対象物



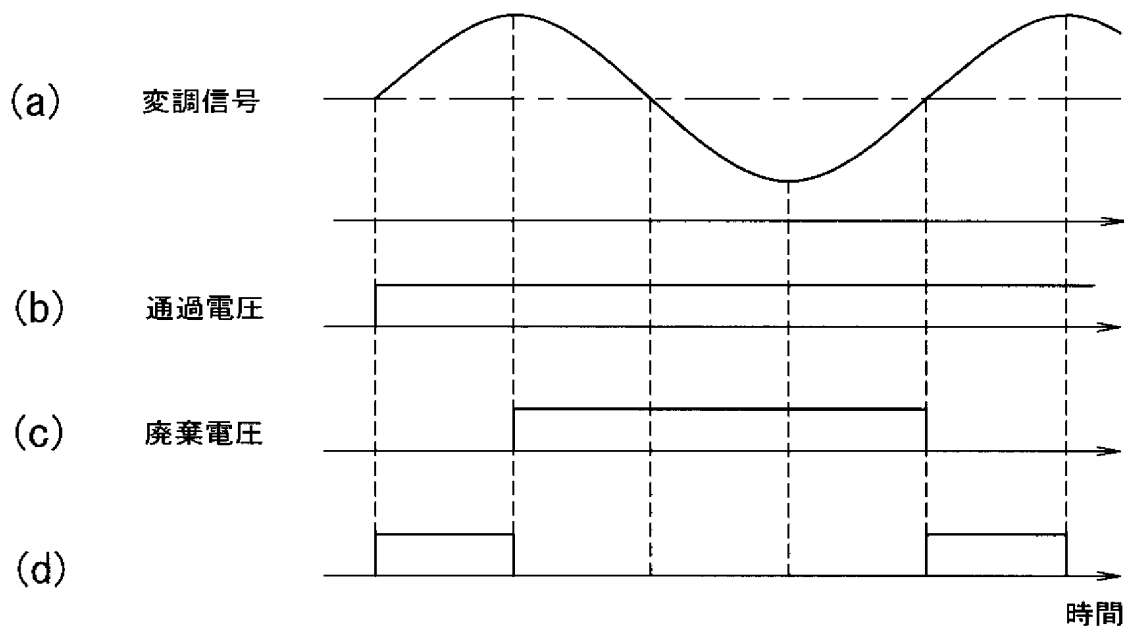
【図 2】



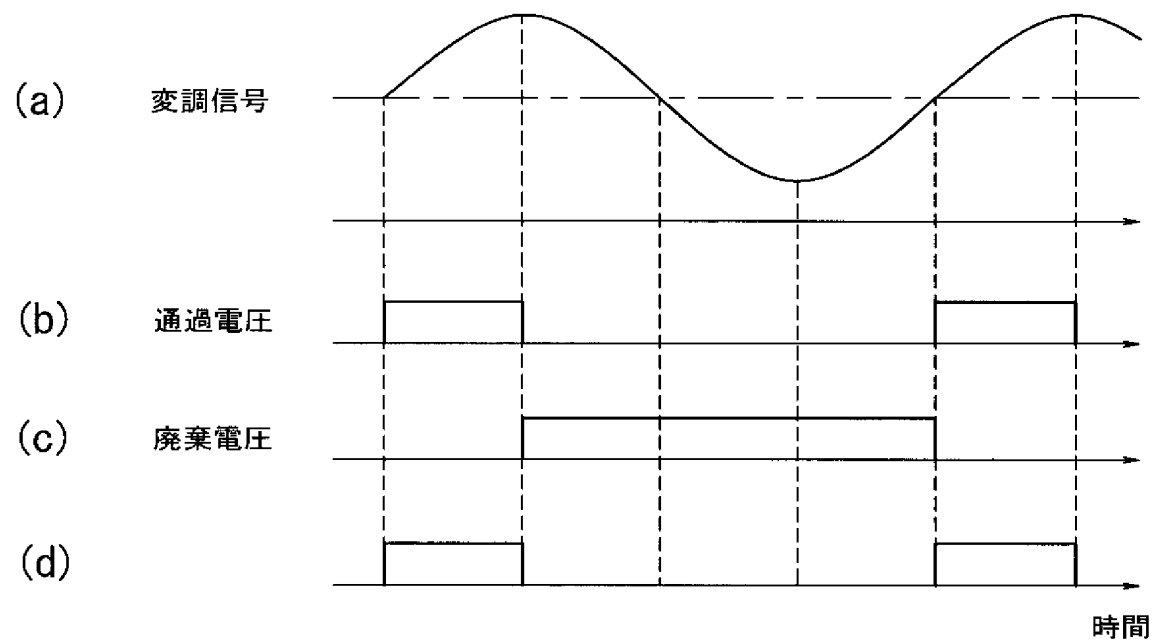
【図 3】



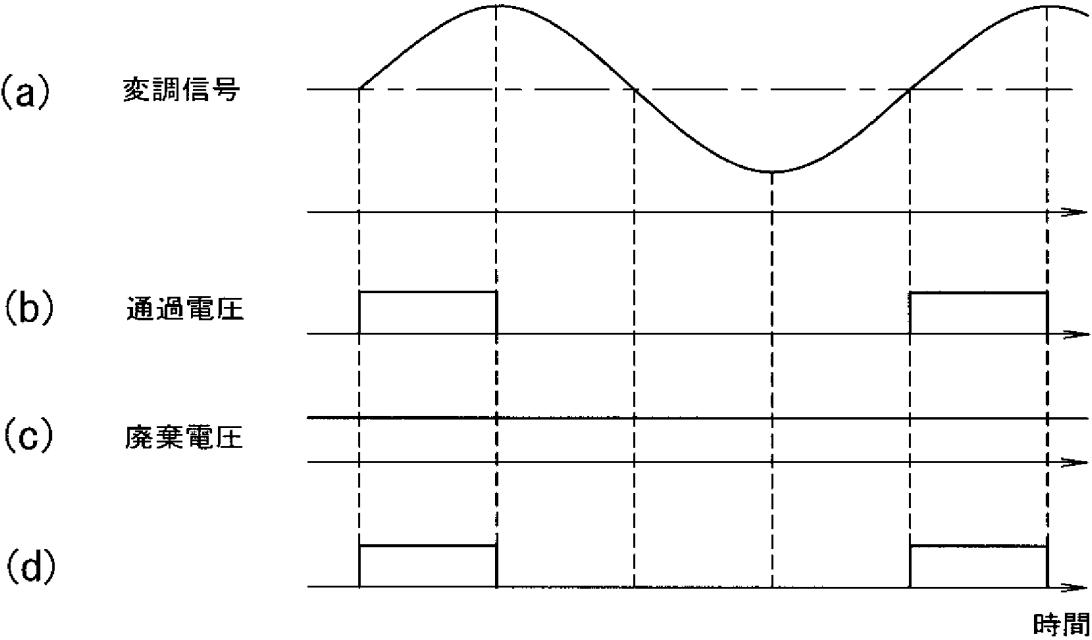
【図 4】



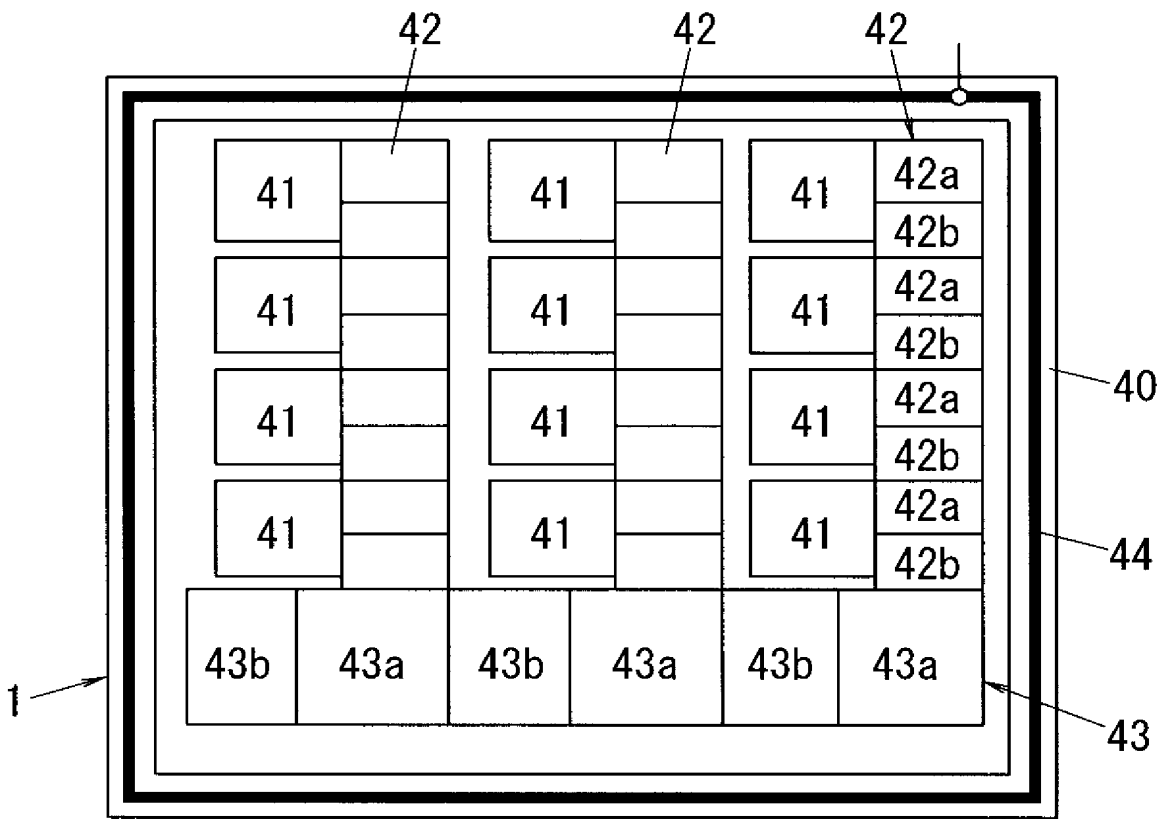
【図 5】



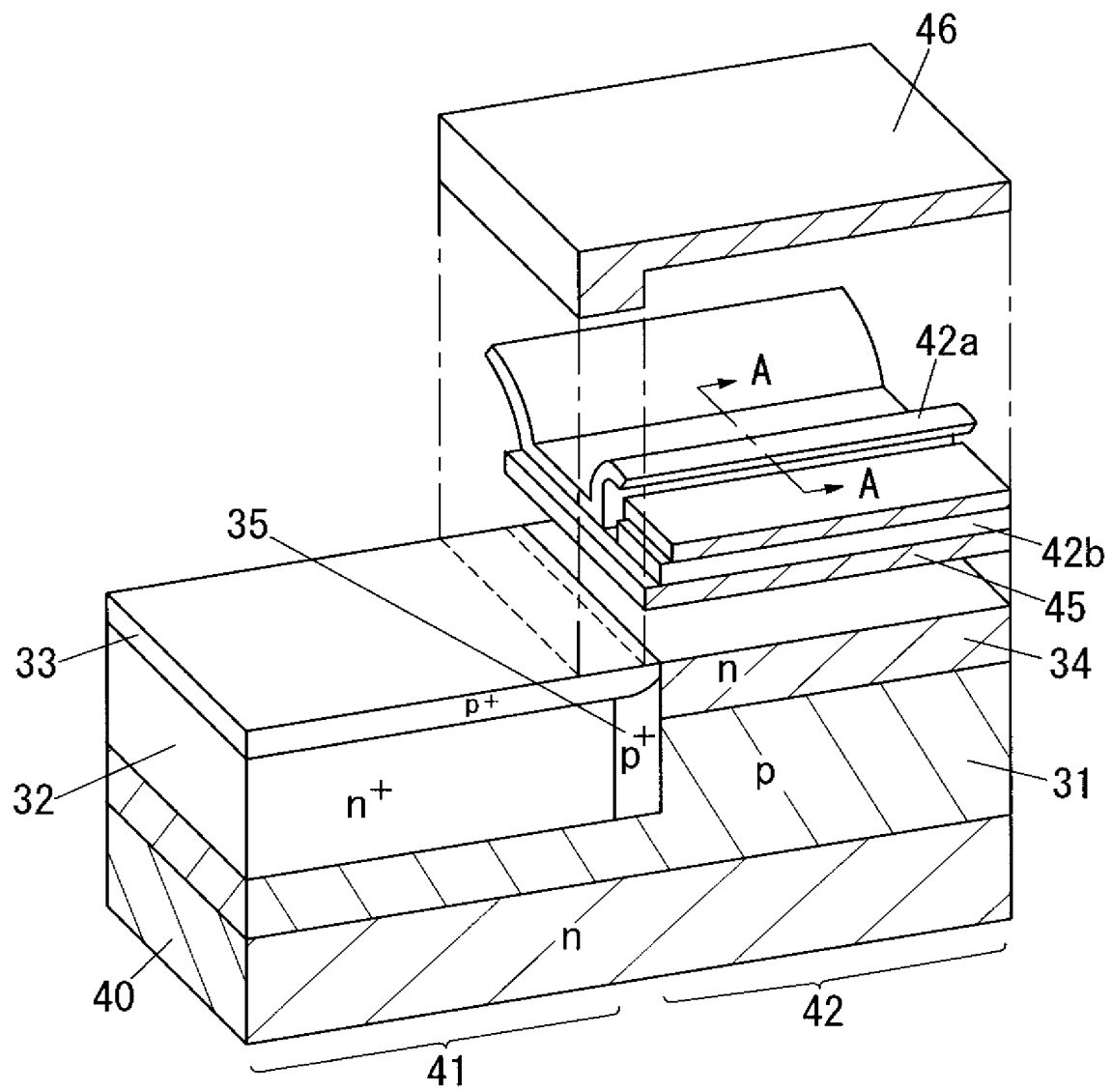
【図 6】



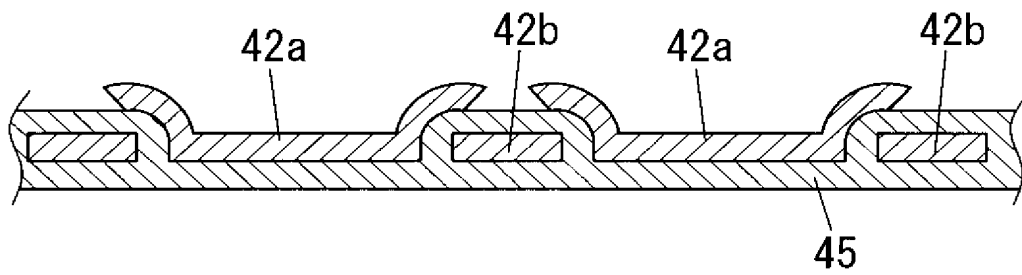
【図 7】



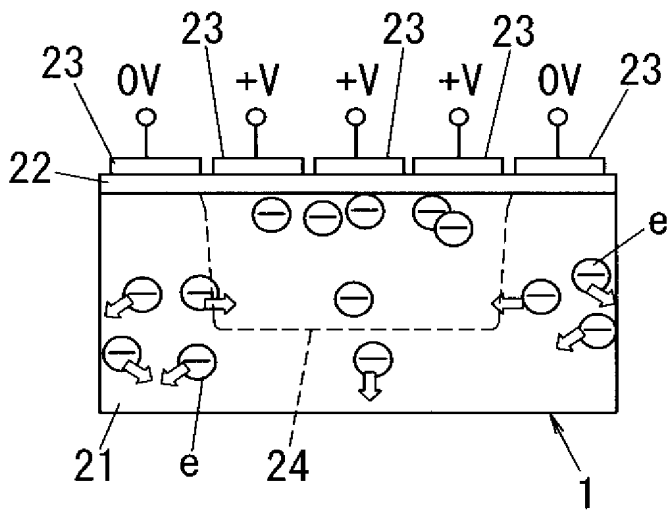
【図 8】



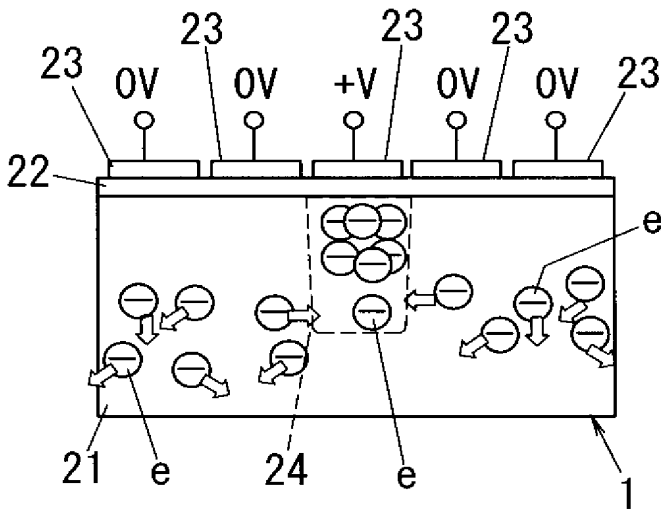
【図 9】



(a)



(b)



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 簡単な構成で対象物の実寸を求めることができる計測装置を提供する。

【解決手段】 発光源 2 は対象空間に光を照射し、光検出素子 1 は対象空間を撮像する。画像生成部 4 は、発光源 2 から対象空間に照射された光と対象空間内の対象物 O b で反射され光検出素子 1 で受光される反射光との対応関係によって対象物 O b までの距離を求め、画素値が距離値である距離画像と、受光光量である濃淡値を画素値とする濃淡画像とを生成することにより、同じ画素に距離値と濃淡値とを対応付ける。計測点抽出部 5 は、画像生成部 4 で生成された濃淡画像から対象物 O b について着目する複数の計測点を抽出する。実寸算出部 6 は、計測点抽出部 5 で抽出した計測点の位置の画素について画像生成部 4 で生成された距離画像から求めた距離値と距離画像内での計測点の位置とから対象物 O b において複数の計測点に対応する部位間の実寸を算出する。

【選択図】 図 1

出願人履歴

0 0 0 0 0 5 8 3 2

19900830

新規登録

5 9 1 2 1 8 1 9 0

大阪府門真市大字門真1 0 4 8番地

松下電工株式会社